

Impact van klimaatverandering op hydrologische en hydraulische extremen in de Schelde- en Seine-rivierbekkens en langs de Noordzeekust

Patrick WILLEMS¹, Pierre BAGUIS⁴ voor het CCI-HYDR team
 Agnès DUCHARNE², Pascal VIENNOT³ voor het RExHySS team
 Toon VERWAEST⁵ voor het CLIMAR team

¹ Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Hydraulica, Kasteelpark Arenberg 40, BE-3001 Heverlee (Leuven), België, Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be

² UMR Sisyphe, UPMC Boite 105, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France, Agnès.Ducharne@upmc.fr

³ Mines ParisTech, Centre de Géosciences, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex, France, Pascal.Viennot@mines-paristech.fr

⁴ Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Risk Analysis and Sustainable Development Section, Avenue Circulaire 3, BE-1180 Brussel, België, Pierre.Baguis@oma.be

⁵ Waterbouwkundig Laboratorium, Vlaamse Overheid, Berchemlei 115, BE-2140 Borgerhout, België, toon.verwaest@mow.vlaanderen.be, <http://www.watlab.be>

Abstract (Nederlands)

Inleiding

Op basis van de tussentijdse resultaten van de volgende lopende onderzoeksprojecten werd voor België en Noord-Frankrijk een beeld gevormd van de invloed van klimaatverandering op de hydrologie van rivierbekkens en op de kust:

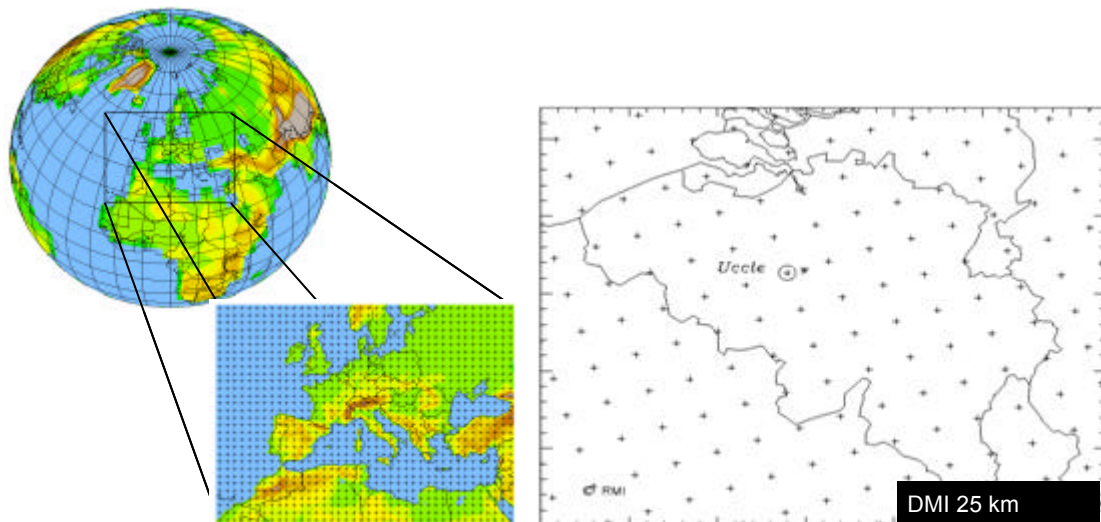
- CCI-HYDR project over “Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems”: project uitgevoerd door K.U.Leuven – Afdeling Hydraulica (P.Willems) en KMI - Afdeling Risico-analyse en duurzaamheid (P.Baguis, E.Roulin, G.Demarée), gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid (Science for a Sustainable Development programme); zie webstek www.kuleuven.be/hydr/CCI-HYDR.htm voor meer details
- Onderzoeksproject over het “Effect van klimaatwijzigingen op afvoerdebieten in hoog- en laagwatersituaties en op de globale waterbeschikbaarheid” voor het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid (W.Vanneuville): project uitgevoerd door K.U.Leuven – Afdeling Hydraulica (P.Willems)
- Projet RExHySS “Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme”: project uitgevoerd door 9 Franse partners (CERFACS: L.Terray, E.Maisonnave, J.Boé, C.Pagé; CNRM: E.Martin, M.Déqué; Sisyphe: A.Ducharne, L.Oudin, F.Habets, S.Gascoin, P.Ribstein, M.Bourqui; ENSMP/Armines: P.Viennot, E.Ledoux; Cemagref Lyon: E.Leblois, E.Sauquet; BRGM Orléans: D.Thiery; SOGREAH: P.Sauvaget, J.Rieu; Hydratec: T.Lepelletier; INRA (UMR EGC): A.Perrier),

gefinancierd door het GICC onderzoeksprogramma; zie webstek www.sisyphe.jussieu.fr/~agnes/rexhyss voor meer details

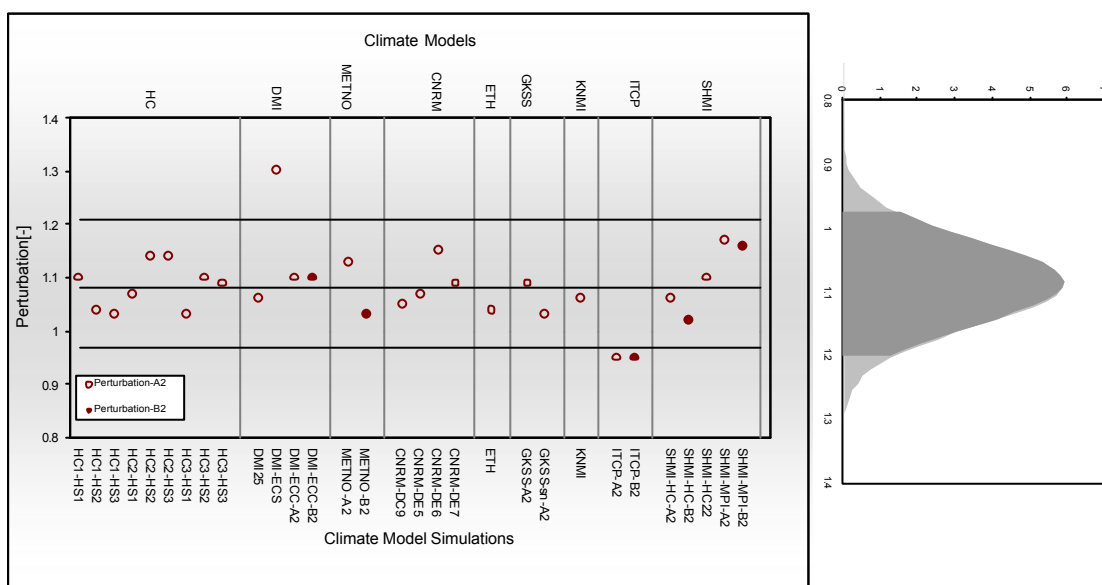
- CLIMAR project over “Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities”: project uitgevoerd door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (MUMM), Arcadis België, Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid, het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO) en het Maritiem Instituut van de U.Gent, gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid (Science for a Sustainable Development programme); zie webstek www.arcadisbelgium.be/climar voor meer details

Klimaatveranderingsscenario's voor neerslag en verdamping in België

In het CCI-HYDR project werden klimaatveranderingsscenario's opgesteld voor neerslag en verdamping tot het jaar 2100. Dit gebeurde door het analyseren van een 30tal simulaties met regionale Europese klimaatmodellen (voorbeeld Figuur 1). De simulaties geven een voorspelling van de verandering in het klimaat ten gevolge van de toekomstige evoluties in de uitstoot van broeikasgassen. Schattingen in deze toekomstige uitstoot zijn gemaakt door de Intergouvernementele Werkgroep rond Klimaatverandering (IPCC). Ze zijn gebaseerd op toekomstverwachtingen van de evolutie van de wereldeconomie, van de bevolkingstoename, van het gebruik van materialen, van energiebronnen, enz. Deze evolutie kan meer of minder duurzaam verlopen, al dan niet sterk rekening houdend met ecologische aspecten, en meer mondiaal of meer regionaal georiënteerd. Als gevolg hiervan kunnen de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer verder blijven toenemen tot het jaar 2100 met in het meest pessimistisch scenario een verdrievoudiging van de CO₂ uitstoot. Een ander scenario is dat deze eerst toenemen tot het midden van de volgende eeuw en daarna opnieuw dalen. Voor elk van deze scenario's en elk van de beschouwde klimaatmodellen (die telkens een bepaald fysisch gedrag van de atmosfeer en zijn interacties met de oceanen en het land veronderstellen) is de invloed op neerslag en verdamping bestudeerd. De resultaten werden na statistische verwerking samengevat in een “laagscenario” (= minst pessimistisch scenario), “middenscenario” en “hoogscenario” (= meest pessimistisch scenario) (voorbeeld voor winterneerslag in Figuur 2).



Figuur 1. Belgische gridlocaties van het DMI klimaatmodel met gridresolutie 25 km (CCI-HYDR project).



Figuur 2. Factor neerslagwijziging tijdens het winterseizoen voor uitzonderlijke neerslag te Ukkel, volgens de verschillende simulaties met 10 regionale klimaatmodellen, en de afgeleide hoog-, midden- en laag-klimaatveranderingsscenario's (een factor 1.1 betekent 10% toename) (CCI-HYDR project).

In het algemeen kan men stellen dat door klimaatverandering de hoeveelheid verdamping in zowel de winter als de zomer toeneemt) en dat de neerslag in de winter toeneemt. De neerslagverandering in de zomer is complexer: het zal minder vaak regenen (lagere neerslagvolumes in de zomer) maar de hevige zomeronweders kunnen extremer zijn en vaker voorkomen (althoewel niet alle klimaatmodellen het over dit laatste eens zijn).

Invloed van klimaatverandering op de waterhuishouding en de hydrologische extremen (hoog- en laagwater) langs rivieren in het Vlaamse binnenland (Schelde-stroomgebiedsdistrict)

De CCI-HYDR klimaatveranderingsscenario's werden in een onderzoeksproject voor het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse overheid doorgerekend in riviermodellen om de concrete invloed te bestuderen op hoog- en laagwaterdebieten langs rivieren. Dit gebeurde voor de 67 grootste rivieren in het Vlaamse binnenland. De conclusies gaan voor alle rivieren in dezelfde lijn:

- voor het laagwater in de zomer:

Door de sterke daling in de zomerneerslag en de toename in de verdamping, daalt het debiet aanzienlijk. Tijdens droge zomers kunnen de laagste rivierdebieten met meer dan 50% dalen (20% in het minst pessimistische scenario, 70% in het meest pessimistische scenario). Het is duidelijk dat dit de kans op watertekorten aanzienlijk kan doen toenemen, wat nadelige gevolgen kan hebben voor de drinkwaterproductie, de diepgang voor de scheepvaart, voor de waterkwaliteit, enz. Hoe deze daling zich vertaalt naar hoe vaak er watertekorten, vissterftes, enz. zullen zijn in de toekomst is nog niet bestudeerd.

- voor het hoogwater in de winter:

De sterke stijging in de verdamping (tijdens zowel de winter als de zomer) compenseert voor een groot deel de toename in de winterneerslag. Daardoor valt de toename in het aantal en de grootte van de overstromingen (in de winter vooral langs rivieren) nog best mee. Piekafvoeren in de rivieren nemen in het meest pessimistische scenario met niet meer dan ongeveer 35% toe.

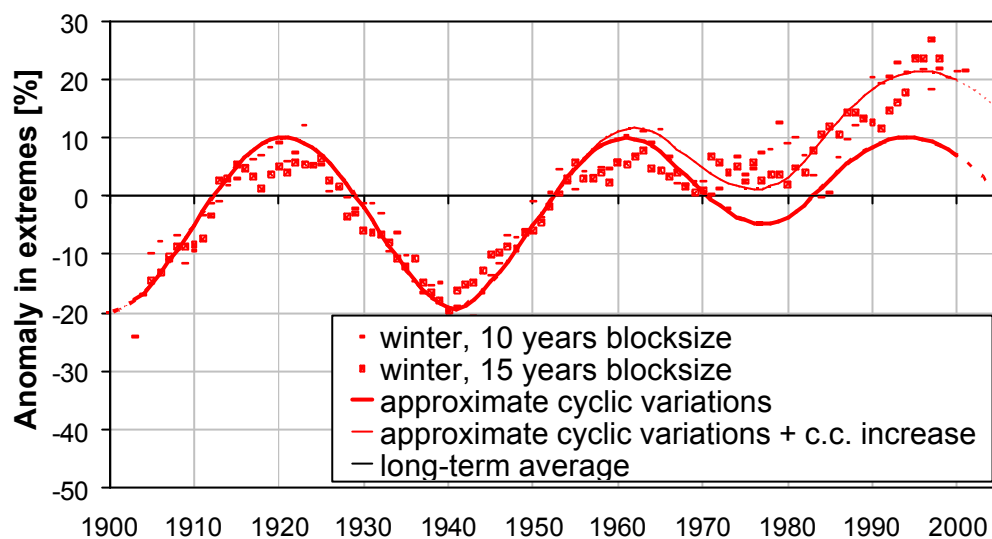
- voor het hoogwater in de zomer:

Extreme zomeronweders kunnen potentieel voor rioleringsoverstromingen zorgen (zoals ook meermaals deze zomer in Vlaanderen opgemerkt). De meeste klimaatmodellen (althoewel niet allemaal) voorspellen een toename in het aantal en de grootte van zulke hevige zomeronweders zodat ook een toename van het aantal rioleringsoverstromingen wordt verwacht. Als wij kijken naar de grootste bui die zich momenteel in een periode van 10 jaar typisch voordoet, dan blijkt deze in het meest pessimistische scenario met ongeveer 30% toe te nemen.

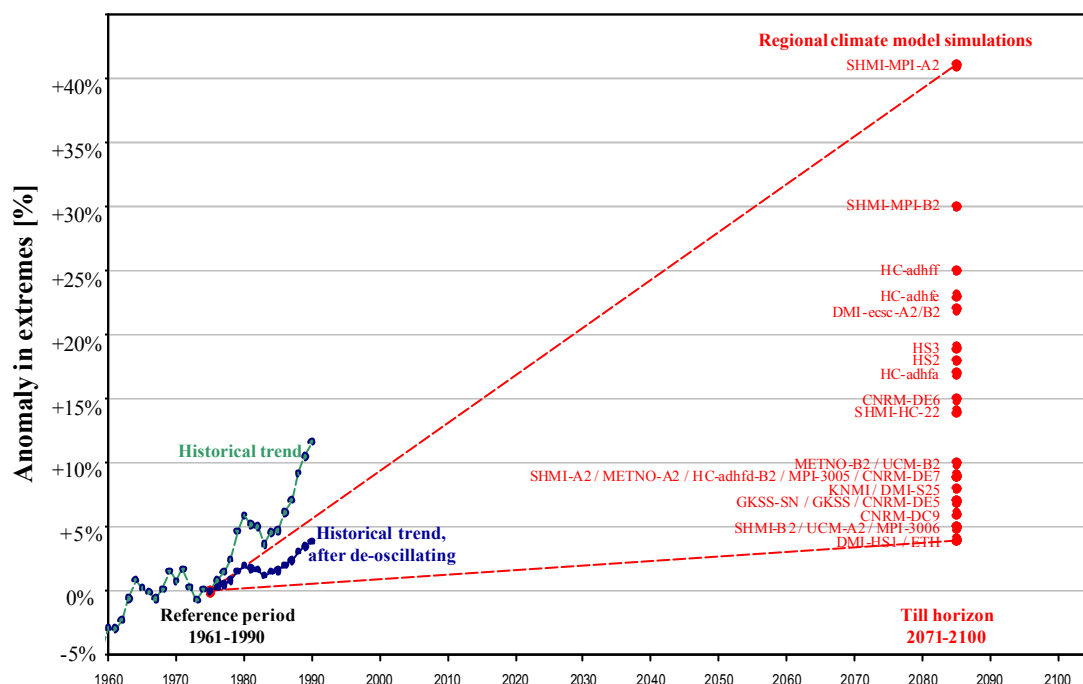
Velen vragen zich af of deze trends momenteel reeds waarneembaar zijn. Als men naar de waarnemingen van het KMI van de laatste 100 jaar in Ukkel kijkt, dan is de toename in de winterneerslag en de toename in de verdamping effectief reeds waarneembaar (zie Figuur 3). De toename is ook consistent met de voorspellingen door de klimaatmodellen (voorbeeld Figuur 4).

De toename in het aantal en de grootte van het aantal zomeronweders is nog niet waarneembaar. Wel zijn er de laatste 15 jaar zeer veel hevige zomeronweders geweest, maar hier speelt nog een andere factor een rol: de natuurlijke klimaatoscillaties. Door natuurlijke schommelingen in het klimaat zijn er de laatste 15 jaar toevallig zeer veel zomeronweders voorgekomen, maar niet meer dan bijvoorbeeld in de jaren 1910-1920 en

de jaren 1960. Het aantal rioleringsoverstromingen is sinds die tijd wel sterk toegenomen maar dat vindt zijn verklaring in het gewijzigd landgebruik (toename in de verharding, aanleg van rioleringen en waterzuiveringsinfrastructuur, en dergelijke).



Figuur 3. Multidecadale oscillaties en trends in de extreme neerslag te Ukkel (gebaseerd op de periode 1898-2005): voorbeeld voor de winterperiode (uitbreiding van Willems et al., 2007; Ntegeka & Willems, 2008).



Figuur 4. Recente trends en toekomstige evoluties in de extreme neerslag voor Vlaanderen (gebaseerd op voorspellingen met 28 regionale klimaatmodellen): voorbeeld voor de winterperiode (uitbreiding van Ntegeka & Willems, 2008).

De recente toename in neerslagextremen werd op basis van Figuur 3 opgedeeld in een deel "natuurlijke klimaatoscillaties" en een deel "klimaatverandering". De resultaten voor de periode na 1960 zijn in Figuur 4 overgenomen. Ze zijn herschaald zodat het gemiddelde voor de periode 1961-1990 (de referentieperiode van de klimaatmodellen) bij 0% ligt. Bovendien is het deel "natuurlijke klimaatoscillaties" afgetrokken van de totale historische trend (wordt "de-oscillating" genoemd in de figuur). Daarnaast zijn de voorspellingen met de klimaatmodellen weergegeven (de toename in winterneerslag van de referentieperiode 1961-1990 tot de scenarioperiode 2071-2100). De onzekerheden zijn zeer groot, maar de range aan voorspellingen zijn consistent met de recente historische waarnemingen: enkele % toename in winterneerslag per decade.

Referenties bij de figuren:

- Willems, P., Ntegeka, V., Berlamont, J., 2007. “Analyse van trends en meerjarige schommelingen in de neerslagextremen op basis van de meer dan 100 jaar 10 minuten neerslag te Ukkel”, *Rioleringswetenschap*, jaargang 7, nr. 26, juni 2007, 45-53.
- Ntegeka, V., Willems, P., 2008. “Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100 years time series of 10 minutes rainfall intensities at Uccle, Belgium”, *Water Resources Research*, 44, W07402, doi:10.1029/2007WR006471
- Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P., Roulin, E., 2008. “Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems – Phase 1. Development of climate change scenarios for rainfall and ETo”, *Samenvattend rapport bij de Fase I van het CCI-HYDR project door K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica en KMI voor Federaal Wetenschapsbeleid*, april 2008, 56 p.

De resultaten van het onderzoek geeft waterbeheerders en waterbouwkundige ingenieurs de mogelijkheid om via de klimaatveranderingsscenario's (in dit geval de CCI-HYDR hoog-, midden- en laag-klimaatveranderingsscenario's) de invloed in te rekenen van toekomstige klimaatverandering in nieuwe waterbeheersprojecten of bij de bouw van nieuwe waterbouwkundige infrastructuur (zoals dijken, wachtbekkens, enz). De onzekerheden zijn echter nog zeer groot. Daarom moeten de evoluties van het klimaat de volgende jaren verder nauwgezet opgevolgd worden, en moet bij nieuwe projecten voor waterbeheersing rekening worden gehouden met de mogelijkheid om preventieve maatregelen te nemen. Omwille van de grote onzekerheden over de toekomstige evoluties van het klimaat worden de maatregelen best aanpasbaar (adaptief) gemaakt. Naast structurele maatregelen zijn overstromingsvoorspellers 1 van de instrumenten die momenteel door de Vlaamse overheid worden ontwikkeld om anticipatief te kunnen inspelen op dreigende wateroverlast. Een andere mogelijkheid die momenteel aan de K.U.Leuven (in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij) wordt onderzocht, is het real-time sturen van hydraulische regelstructuren ter vulling en lediging van wachtbekkens die overstromingen anticipatief (en gebeurtenis-specifiek, rekening houdend met toekomstig voorspelde neerslag) kunnen beperken. Ten slotte wordt ook nagegaan hoe de ontwerpregels voor de aanleg van rioleringen in Vlaanderen kunnen bijgesteld worden in het licht van het veranderende klimaat. De studie heeft aangetoond dat men naast deze lopende plannen m.b.t. een betere beheersing van overstromingen, de andere problemen m.b.t. waterbeschikbaarheid niet uit het oog mag verliezen. Deze laatste problemen zijn momenteel nog marginaal, maar kunnen in de toekomst (tijdens de komende eeuw) mogelijk belangrijker worden dan de overstromingsproblematiek.

Invloed van klimaatverandering op de waterhuishouding en de hydrologische extremen (hoog- en laagwater) langs rivieren in de Somme- en Seine-rivierbekkens

Het REXHySS onderzoeksteam voerde een gelijkaardig onderzoek uit voor de rivierbekkens van de Somme en de Seine in Noord-Frankrijk. In deze bekkens doen zich

gelijklopende tendensen voor, maar versterkend richting verdroging. Terwijl voor het Schelde-stroomgebied de invloed op overstromingskansen zeer onduidelijk is, geven de resultaten van het RExHySS team aan dat zowel in de zomer als de winter neerslagvolumes, debietafvoeren en grondwatervoeding aanzienlijk zullen dalen. Zo wordt op basis van huidige simulaties verwacht dat het totaal jaarlijks grondwaterdeficiet in het Seinebekken tegen 2100 even groot wordt als het huidig jaarlijks waterverbruik (grondwater + oppervlaktewater). Rivierdebieten (zowel gemiddelde als piekafvoeren) kunnen in de winterperiode in grootteorde 20% dalen, terwijl de rivierdebieten in zomerperiode met 50% kunnen dalen. Het is duidelijk dat dit belangrijke invloeden kan hebben op o.a. landbouwproductie, irrigatienoden, waterkwaliteit, enz.

Invloed van klimaatverandering op de kust

De invloed op de kust wordt bestudeerd in onder meer het CLIMAR project. Dit project gaat in het «worst case scenario » voor 2100 uit van 2 meter zeespiegelstijging. Hierbij blijkt dat de hoogwaters sneller stijgen dan de gemiddelde zeespiegel; de laagwaters stijgen trager. De windsnelheid wordt verondersteld toe te nemen met 8%. Deze waarden zijn vergelijkbaar met wat de Deltacommissie in Nederland vooropstelt als bovengrensscenario. Deze commissie gaat voor 2200 uit van een zeespiegelstijging van 2 tot 4 meter. Verder gaan zij er van uit dat de windsnelheid nagenoeg niet zal wijzigen. Als gevolg hiervan zal de stormopzet langs de kust weinig veranderen. De golfbelasting op kust neemt wel beduidend toe (door toenemende waterdiepte ten gevolg van de zeespiegelstijging). De extreme golven op diep water veranderen echter weinig. Doordat hoogwaters en laagwaters sneller/trager stijgen dan de gemiddelde zeespiegel neemt verder de getijslag toe.

Impact du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques et hydrauliques dans les bassins de l'Escaut et de la Seine, et sur le littoral de la Mer du Nord

Impact of climate change on hydrological and hydraulic extremes along the Scheldt and Seine river basins and along the Northern Sea coast

Patrick WILLEMS¹, Agnès DUCHARNE², Pascal VIENNOT³, Pierre BAGUIS⁴, Toon VERWAEST⁵

¹ Katholieke Universiteit Leuven, Division Hydraulique, Kasteelpark Arenberg 40, BE-3001 Leuven, Belgique, Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be, <http://www.kuleuven.be/hydr/CCI-HYDR>

² UMR Sisyphe, UPMC Boite 105, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France, Agnes.Ducharne@upmc.fr, <http://www.sisyphe.jussieu.fr/~agnes/rexhyss/>

³ Mines ParisTech, Centre de Géosciences, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex, France, Pascal.Viennot@mines-paristech.fr

⁴ Institut Royal Météorologique de Belgique, Risk Analysis and Sustainable Development Section, Ringlaan 3, BE-1180 Bruxelles, Belgique, Pierre.Baguis@oma.be

⁵ Flanders Hydraulics Research, Gouvernement Flamend, Berchemlei 115, BE-2140 Borgerhout, Belgique, toon.verwaest@mow.vlaanderen.be

Abstract (English)

Climate change scenarios for rainfall (including extreme rainfall), temperature and potential evapotranspiration (ET_o) over Belgium and Northern France have been developed within the scope of two ongoing research projects: the CCI-HYDR project (Belgium) and the RExHySS project (Seine and Somme basins, France). The common points of all climate scenarios are to be based on simulation results from Regional or Global Climate Models (RCMs or GCMs), downscaled using statistical methods that were all calibrated to best reproduce historical time series. A large set of climate simulations have been statistically downscaled, and their dispersion is assumed to represent the uncertainties related with climate change modelling. These climate change scenarios have been used as inputs of hydrological and hydrodynamic models for all main inland rivers in the Belgian part of the Scheldt river basin district and for the Seine and Somme river basins in Northern France. Climate change impact results were investigated for annual and seasonal runoff volumes, but also for high and low river flow extremes (floods and low flow problems) and groundwater recharge volumes. Robust changes can be identified in the scatter of these many simulations. In particular, it is expected that, in both Belgium and Northern France, river low flows during summer and groundwater recharge will significantly reduce by 2100 (around 50% reduction). This might increase low flow and groundwater recharge deficit problems such as agricultural irrigation needs, drinking water supply problems, navigation problems, reduced river and groundwater quality, ecological deterioration, etc. The uncertainty is higher on river

flows in winter. In Belgium, winter (peak) flows (and consequently flood risks) might either increase or decrease. However, in the most severe scenario, peak flows will not increase more than about 35% by 2100 compared to present time. In the Seine and Somme river basins, winter monthly peaks are expected to be reduced (around -20% by 2100 compared to present time simulations, but with a lot of dispersion around this average reduction depending on the selected climate scenario and hydrological model). In all cases, future climate trends and their hydrological impact results are still very high, such that adaptive water management actions are recommended.

The impact on the coastal area has been studied in the CLIMAR project. This project assumes that by 2100 the sea level rise along the Belgian North Sea coast will be 2 m in the «worst case scenario ». The tidal maximum levels appear to increase stronger than the mean sea level; the tidal minima less strong. The wind speed is assumed to increase with 8%. These values are comparable with these obtained by the Delta Commission in The Netherlands. In the high scenario the sea level rise is taken 2 to 4 m by 2200. The Delta Commission furthermore assumes that the wind speed will not change in a significant way. As a consequence of this assumption, the storm surge levels will not change. It also means that the extreme wave conditions do not change in the deep ocean. The impact of these waves on the coast will, however, increase due to the increasing sea levels. Given that the tidal maximum and minimum levels appear to increase stronger/less strong than the mean sea level, also the tidal range and its impacts will increase.